

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

W02P20398



① BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Übersetzung der
europäischen Patentschrift

⑨ EP 0 835 466 B 1

⑩ DE 696 05 116 T 2

⑤ Int. Cl. 7: 3 1
G 02 B 5/28

- | | | |
|---|---|----------------|
| ② | Deutsches Aktenzeichen: | 696 05 116.8 |
| ⑧ | PCT-Aktenzeichen: | PCT/CA96/00415 |
| ⑨ | Europäisches Aktenzeichen: | 96 918 558.6 |
| ⑦ | PCT-Veröffentlichungs-Nr.: | WO 97/01777 |
| ⑧ | PCT-Anmeldetag: | 19. 6. 1996 |
| ⑦ | Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: | 16. 1. 1997 |
| ⑦ | Erstveröffentlichung durch das EPA: | 15. 4. 1998 |
| ⑦ | Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: | 10. 11. 1999 |
| ⑦ | Veröffentlichungstag im Patentblatt: | 13. 7. 2000 |

⑩ Unionspriorität:

496097	28. 06. 1995	US
529449	18. 09. 1995	US

⑦ Patentinhaber:

JDS Fitel Inc., Nepean, Ontario, CA

⑦ Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

⑧ Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

⑦ Erfinder:

CUSHING, David, Henry, Greely, Ontario K4P 1B6,
CA

⑤ MEHRSCHTIGES DÜNNSCHICHTBANDPASSFILTER

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 696 05 116 T 2

DE 696 05 116 T 2

0835 466

08.02.00

P1313d EP

1

Mehrschichtiges Dünnschicht-Bandpassfilter

Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft dielektrische Bandpassfilter, insbesondere mehrschichtige Strukturen mit einer Mehrzahl von Kavitäten, welche Strukturen die Durchlasswelligkeit im Passband (Durchlassbereich) reduzieren.

Hintergrund der Erfindung

Optische Interferenz, die die Intensitäten von durchgehendem und reflektiertem Licht verändert, ergibt sich bei der Überlagerung von zwei oder mehreren Lichtstrahlen. Das Überlagerungsprinzip sagt aus, dass die resultierende Amplitude die Summe der Amplituden der einzelnen Strahlen ist. Die strahlenden Farben, die beispielsweise zu sehen sind, wenn Licht an einer Seifenblase oder an einem Film von auf Wasser schwimmendem Öl reflektiert wird, wird durch Interferenzeffekte zwischen den zwei Wellenzügen erzeugt. Die Lichtwellen werden an gegenüberliegenden Seiten des Seifenlösungs-Filmes oder des Öl-Filmes reflektiert.

Eine wichtigere, praktische Anwendung von Interferenzeffekten an dünnen Filmen ist die Herstellung von beschichteten, optischen Oberflächen. Wenn eine dünne Schicht einer transparenten Substanz auf einem transparenten Substrat wie Glas ab-

gelagert wird, wobei die transparente Substanz z. B. einen Brechungsindex in einem geeigneten Verhältnis zum Brechungsindex des Glases aufweist und eine Dicke, die einem Viertel einer der Wellenlängen des auf den Film fallenden Lichtes entspricht, kann die Reflexion des Lichtes dieser Wellenlänge am Glas fast vollständig unterdrückt werden. Das Licht, welches sonst reflektiert würde, wird nicht durch eine nicht-reflektierende Schicht absorbiert, sondern die Energie im einfallenden Licht wird rückverteilt, so dass eine Abnahme der Reflexion von einer gleichzeitigen Zunahme der Intensität des das Glas durchdringenden Lichtes begleitet wird.

Beträchtliche Verbesserungen der anti-reflektiven Leistung solcher Filme sind durch Verwendung zusammengesetzter Filme mit zwei oder mehr als zwei übereinander gelagerten Schichten erreicht worden. Zwei verschiedene Materialien können bei der Herstellung eines solchen zusammengesetzten Films verwendet werden, eines mit einem relativ hohen Brechungsindex (Brechzahl) und das andere mit einem relativ niedrigen Brechungsindex. Die zwei Materialien werden abwechselnd in vorgegebenen Dicken abgelagert, um die erwünschten optischen Eigenschaften für den Film zu erhalten. Theoretisch ist es möglich, mit dieser Methode vielschichtige Interferenz-Beschichtungen für die verschiedensten Spektren von durchgelassenem und reflektiertem Licht zu produzieren. Die Verwendung von komplexen Spektralfilterstrukturen hat zur Entwicklung von vielen neuen optischen Vorrichtungen geführt. Anti-Reflexions-Beschichtungen, dielektrische Laser-Spiegel, Fernsehkamera-Spaltfilter, optische Bandpassfilter und Bandsperren sind einige Beispiele von nützlichen Vorrichtungen, bei welchen Dünnschicht-Interferenzbeschichtungen verwendet werden.

Eine besondere Art von Interferenzbeschichtung ist der Bandpassfilter, welcher derart ausgebildet ist, dass er Wellenlängen in einem vorgegebenen Durchlassbereich durchlässt, während ein Bereich von Wellenlängen auf beiden Seiten des Durchlassbereiches stark reflektiert wird. Idealerweise sollte ein Bandpassfilter ein rechteckförmiges Spektrum ergeben; das heisst, der Übergang zum Durchlassbereich sollte so schnell wie möglich sein, oder anders ausgedrückt, der Flanken- oder Übergangsbereich sollte so steil wie möglich sein und der Durchlassbereich sollte gleichmässig sein und wenig oder gar keine Welligkeit aufweisen.

Filter mit einer Vielzahl von Kavitäten werden bereits seit über 40 Jahren hergestellt. Dabei besteht bis anhin der übliche Ansatz der Filterkonstrukteure darin, einfach Kavitätsstrukturen gleicher Länge (mit gleichen Anzahlen von Schichten) zum Substrat und zum Austritts-Medium zu anti-reflektieren. Doch damit ergeben sich Filter mit übermässiger Welligkeit im Durchlassbereich. Um dieses Problem zu beseitigen, wurde die Notwendigkeit, die Kavitätslängen zu modifizieren, von Dünnschicht-Spezialisten gründlich untersucht. P. W. Baumeister beschreibt in einer Publikation mit dem Titel „Use of microwave prototype filters to design multilayer dielectric bandpass filters“ (Applied Optics Bd. 21, Nr. 16, 15. August 1982) die Verwendung der Technik der stehenden Welle, um reflektierende Zonen aufeinander abzustimmen unter Verwendung der Mikrowellen-Filter-Synthese. C. Jacobs beschreibt in einem Artikel mit dem Titel „Dielectric square bandpass design“ (Applied Optics, Bd. 20, Nr. 8, 15. März, 1981) die Verwendung des Ansatzes des wirksamen Index. A. Thelen beschreibt in einem Buch mit dem Titel „Design of Optical Interference Coatings“ (McGraw-Hill Book Company 1989) äquivalente Schichten und andere Konzepte zur Verminderung der Welligkeit. Die aus diesen Methoden entwickelten Schichtsequenzen werden jedoch nicht als allgemein gültig angesehen und sind nicht gleichwertig anwendbar für verschiedene Verhältnisse der Brechungsindizes der verschiedenen Schichten.

Ein anderes, dem Stand der Technik entsprechendes Filter ist in der britischen Patentanmeldung Nr. 2 137 769 A der Anmelderin VEB Carl Zeiss (hinterlegt am 12. März 1984) offenbart. Dieses Interferenzfilter mit Durchlassbereich ist ein vielschichtiges Filter, das etwas schwieriger herzustellen ist, als das Filter, das vom Anmelder im Folgenden beschrieben wird.

Im Allgemeinen reduzieren Vorkehrungen, die hohen Durchlass zur Folge haben, die Bandbreite dieses Durchlasses und ergeben flache Flanken (d.h. langsamer Wechsel) beim Übergang zum Bereich ohne Durchlass. Da die Verbesserung des Durchlasses

den Flankeneffekt überwiegt, kann ein Filter mit zusätzlichen Kavitäten versehen werden, um die Flanken-Steigung zu verbessern.

In Anbetracht der Beschränkungen des Standes der Technik, ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Bandpassfilter zu schaffen, welches viele dieser Beschränkungen überwindet.

Im Weiteren ist es die Aufgabe der Erfindung, ein Bandpassfilter in der Form eines vielschichtigen Aufbaus mit einer Vielzahl von Kavitäten zu schaffen, welches Bandpassfilter die Welligkeit im Durchlassbereich, wie sie bei der Verwendung von anderen Bandpassfiltern auftritt, reduzieren kann.

Im Weiteren ist es die Aufgabe der Erfindung ein Bandpassfilter in der Form eines vielschichtigen Aufbaus mit einer Vielzahl von Kavitäten zu schaffen, welches Bandpassfilter die Welligkeit im Durchlassbereich reduziert und eine verbesserte Flanken-Steigungen aufweist, als dies normalerweise mit anderen Bandpassfiltern mit reduzierter Welligkeit der Fall ist.

Zusammenfassung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen vielschichtigen Film von abwechselnden Schichten, die aus zwei (oder mehr) transparenten, dielektrischen Filmen mit ungleichen Brechungsindizes bestehen. Die Erfindung verwendet Anti-Reflexion von der Filterstruktur zum Substrat und, wenn nötig Austrittsschnittstellen. Ferner verwendet sie zur Erzeugung eines tiefen Reflexionsprofils im Durchlassbereich auf beiden Seiten einer inneren Grundstruktur äussere Kavitäten mit vier Schichten weniger, als die Kavitäten der inneren Grundstruktur aufweisen. Die Filter mit dem am besten rechteckigen Durchlassbereich haben in ausgewählten Kavitäten zusätzliche Lambda-

Halbe-Schichten, die verschiedenen Schichten zugefügt sind. Die Durchlassbereiche aller dieser Strukturen haben gegenüber Durchlassbereichen von Strukturen mit gleichen Kavitätslängen eine reduzierte Bandbreite.

Das erfindungsgemässe Filter ergibt eine viel bessere Flanke im Bereich hohen Durchlasses als die oben, in Zusammenhang mit dem Hintergrund der Erfindung zitierten Filter (für Filter mit reduzierter Welligkeit). Der angegebene Aufbau stellt einen sehr allgemeinen Ansatz zur Auslegung von Filtern mit hohem Durchlass und mit sehr steilen Flanken dar.

Das erfindungsgemässe Filter ergibt viel bessere Flanken als die zuvor erwähnten, dem Stand der Technik entsprechenden Filter. Die erwünschten Resultate können mit quasi jedem geeigneten Material, welches im fraglichen spektralen Bereich transparent ist, erreicht werden.

Das erfindungsgemässe Bandpassfilter ist im ersten, unabhängigen Patentanspruch definiert. Weitere Ausführungsformen sind in den abhängigen Patentansprüchen definiert.

Die vielfachen Lambda-Halbe-Schichten der äusseren Kavitäten können gleich viele Lambda-Halbe-Dicken aufweisen wie die inneren Kavitäten oder mehr. Zusätzlich werden Lambda-Halbe-Schichten ausgewählten Lambda-Viertel-Schichten in den äusseren Kavitäten zugefügt, um die Flanken des Durchlassbereiches zu verändern. Lambda-Halbe-Schichten werden auch in den inneren Kavitäten positioniert und ausgewählten Lambda-Viertel-Schichten zugefügt, um die durch die veränderten äusseren Kavitäten bewirkte Welligkeit zu entfernen.

Kurze Beschreibung der Figuren

Beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung werden im Folgenden in Verbindung mit den Figuren beschrieben. Dabei zeigen:

Figur 1a einen Querschnitt durch ein Bandpassfilter gemäss dem Stande der Technik;

Figur 1b einen Querschnitt durch ein erfindungsgemässes Bandpassfilter;

Figur 2 einen Querschnitt durch ein festes Etalon-Filter gemäss dem Stande der Technik;

Figur 3 einen Querschnitt durch einen Lambda-Viertel-Stapel gemäss dem Stande der Technik;

Figur 4 einen Querschnitt durch eine Kavität eines dielektrischen Filters gemäss dem Stande der Technik;

Figur 4b einen Querschnitt durch eine Kavität eines erfindungsgemässen, dielektrischen Filters;

Figur 5a einen Querschnitt durch ein Filter mit einer Vielzahl von Kavitäten gemäss dem Stande der Technik;

Figur 5b einen Querschnitt durch ein erfindungsgemässes Filter mit mehreren Kavitäten;

Figur 6 eine grafische Darstellung des Durchlasses als Funktion der Wellenlänge für ein bekanntes Filter mit fünf Kavitäten mit je dreizehn Schichten, die durch eine Lambda-Viertel-Schicht mit tiefem Brechungsindex getrennt sind;

Figur 7a eine grafische Darstellung des Durchlasses als Funktion der Wellenlänge für eine erfindungsgemässe Filterstruktur mit einer neunschichtigen Kavität, drei dreizehnschichtigen Kavitäten und einer zweiten neunschichtigen Kavität;

Figur 7b eine grafische Darstellung des Durchlasses als Funktion der Wellenlänge für eine erfindungsgemässe Filterstruktur mit vier Kavitäten (fette Linie), die eine elfschichtige Kavität, zwei fünfzehnschichtige Kavitäten und eine zweite elfschichtige Kavität aufweist und aus 55 Schichten mit 79 Lambda-Viertel-Dicken aufweist, und für dieselbe Struktur (dünne Linie) ohne zusätzliche Lambda-Halbe-Schichten;

Figur 8 eine graphische Darstellung, die sich auf ein erfindungsgemässes 55-schichtiges Filter mit vier Kavitäten und 79 Lambda-Viertel-Dicken bezieht (fette Linie, Substrat = Silizium, Austrittsmedium = Luft), und für das Filter nach Figur 7, das zum Vergleich in Glas eingelagert ist (dünne Linie);

Figur 9a eine grafische Darstellung des Durchlasses als Funktion der Wellenlänge für ein 97-schichtiges Filter mit sieben Kavitäten (dünne Linie) nach dem Stande der Technik gegenüber einem erfindungsgemässen 91-schichtigen Filter mit modifizierter Kavität (fette Linie) mit zusätzlichen Schichten mit tiefem Brechungsindex zwischen dem Filter und den Medien im modifizierten Aufbau;

Figur 9b eine graphische Darstellung, die sich auf ein erfindungsgemässes 73-schichtiges Filter mit vier Kavitäten mit 90 Lambda-Viertel-Dicken bezieht;

Figur 10a eine grafische Darstellung des Durchlasses als Funktion der Wellenlänge für ein 62-schichtiges Filter mit fünf Kavitäten;

Figur 10b eine graphische Darstellung, die sich auf ein erfindungsgemässes 89-schichtiges Filter mit vier Kavitäten mit 107 Lambda-Viertel-Dicken bezieht;

Figur 11a eine grafische Darstellung des Durchlasses als Funktion der Wellenlänge für ein 105-schichtiges Bandpassfilter mit acht Kavitäten (modifiziert);

Figur 11b eine grafische Darstellung des Durchlasses als Funktion der Wellenlänge für ein 51-schichtiges Bandpassfilter mit fünf Kavitäten aus Tantalpentoxid und Siliziumdioxid; und

Figur 12 eine grafische Darstellung des Durchlasses als Funktion der Wellenlänge für ein Filter mit acht Kavitäten.

Allgemeine Information betreffend Filterauslegung

Filter für Wellenlängen-Teilungs-Multiplexer und andere Anwendungen der Kommunikationsindustrie verlangen sehr gerade Flanken, sehr niedrige Verluste und so gut

wie keiner Welligkeit. Typische Bandbreiten sind von 0,5 nm bis 100 nm für den Wellenlängenbereich von 1250 bis 1650 nm. Es gibt auch andere Filter-Anwendungen, die von der Verbesserung der Technologie, die die Erfindung bietet, profitieren könnten.

Der einfachste, dem Stande der Technik entsprechende, in Figur 2 gezeigte Filter besteht aus zwei Teilreflektoren oder Halbspiegeln, die durch eine Lambda-Halbe-Schicht aus einem transparenten dielektrischen Material (ähnlich wie Etalon) voneinander getrennt sind.

Wie in Figur 3 gezeigt ist, besteht für voll dielektrische Filter der gezeigte Teilreflektor aus abwechselnden Schichten von Materialien mit hohem und mit tiefem Brechungsindex. Die Dicke jeder Schicht wird derart eingestellt, dass sie bei der Wellenlänge des erwünschten Filters eine Lambda-Viertel-Schicht (QW) ist. Jeder Teilreflektor (der auch aus nur einer Schicht bestehen kann) wird Lambda-Viertel-Stapel (QWS) genannt. Die Bandbreite des Filters ist eine Funktion des Reflexionsvermögens von Lambda-Viertel-Stapeln im Aufbau.

Figur 4 zeigt eine Filterkavität, ein allgegenwärtiges und grundlegendes Bauelement für voll dielektrische Interferenzfilter. Die Kavität besteht aus zwei identischen Reflektoren, bestehend aus Lambda-Viertel-Stapeln, die durch eine Lambda-Halbe-(oder Mehrfach-Lambda-Halbe-)-Schicht voneinander getrennt sind. Kavitäten werden über anderen Kavitäten angeordnet mit einer Lambda-Viertel-Schicht aus einem Material mit tiefem Brechungsindex zwischen den Kavitäten, um die Flanken steiler zu machen. Auf diese Weise werden Filter mit mehreren Kavitäten erzeugt, wie einer in Figur 5a gezeigt ist.

Von einem praktischen Standpunkt aus gesehen, kontrolliert die Gesamtzahl der aufzubringenden Schichten die Anzahl von möglichen Kavitäten. Bei einer Bandbreite von 0,3 nm oder mehr sind Strukturen mit einer Vielzahl von Kavitäten möglich. Fil-

ter mit einer Bandbreite bis 10 nm können leicht mit 3 oder 4 Kavitäten ausgestaltet werden. Im Bereich über 6 nm sind möglicherweise noch mehr Kavitäten notwendig, um Flanken zur Elimination von unerwünschten Lichtwellenlängen zu erreichen. Diese Filter haben eine grosse Zahl von Schichten. Der Oberflächenertrag ist klein und 25 mm Durchmesser können für die schmalen Bänder typisch sein. Kavitäten von gleicher Länge erzeugen das beste Abrollen in den Durchlasszonen. Die Untersuchung der grafischen Darstellung für Filter mit Kavitäten gleicher Länge zeigt jedoch, dass Verbesserungen notwendig sind, um die Welligkeit im Durchlassbereich auf einen annehmbaren Stand zu bringen, wie Figur 6 zeigt.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

Wie in Figur 1b gezeigt ist, umfasst der erfindungsgemässe Filteraufbau: ein transparentes Substrat 6; eine optische Anpassungsschicht auf dem Substrat (wenn nötig; nicht gezeigt); eine äussere Filterkavität 10a mit N Schichten, wobei $N \geq 3$ und wobei die Dicke einiger der Schichten Drei-Lambda-Viertel sein kann; eine Schicht 12 mit tiefem Brechungsindex; eine Serie von Filter-Kern-Kavitäten 10b, wobei jede $(N + 4)$ Schichten aufweist und zwischen benachbarten Kavitäten 10a und 10b eine Schicht 12 mit tiefem Brechungsindex vorgesehen ist; eine weitere äussere Filterkavität 10a mit N Schichten, von denen einige eine Dicke von Drei-Lambda-Viertel haben können; und, wenn nötig, eine weitere Anpassschicht (nicht gezeigt). Lambda-Halbe-Schichten sind in die Lambda-Viertel-Stapel eingestreut, um die Flanken zu verbessern. Die Anzahl und die Position dieser zusätzlichen Lambda-Halbe-Schichten variiert für individuelle Anwendungen. Im Gegensatz dazu zeigt Figur 1a ein konventionelles, dem Stande der Technik entsprechendes Filter mit fünf Kavitäten, wobei jede Kavität, auch die äussersten Kavitäten, M Schichten aufweisen.

Zurückkommend auf Figur 1b: üblicherweise besteht die verwendete Anpassungsschicht aus einem Material mit tiefem Brechungsindex und hat die Dicke einer Lambda-Viertel-Schicht. Das Material, die Dicke und der Brechungsindex der Anpass-

sungsschicht(en) können jedoch anders sein als diejenigen der Schicht 12 mit tiefem Brechungsindex. Die Kavitäten 10a und 10b umfassen Schichten von Lambda-Viertel-Dicke abwechselnd aus Material mit hohem und solchem mit tiefem Brechungsindex. Das erste Material in einer Kavität 10a hat einen tiefen Brechungsindex und ist gefolgt von einem Material mit hohem Brechungsindex. Für den einfachsten Fall ist das Material mit tiefem Brechungsindex ein vielfaches von Lambda-Halbe dick und wird gefolgt von einem Material mit hohem Brechungsindex, z.B. HLLH; wobei jede Schicht ein Lambda-Viertel-dickes Material mit hohem (H) oder tiefem (L) Brechungsindex angibt. Somit wird HLLH als dreischichtiges Material angesehen mit einer Lambda-Halbe-Schicht LL aus Material mit tiefem Brechungsindex zwischen zwei Schichten H und H, je aus Material mit hohem Brechungsindex und mit der Dicke Lambda-Viertel. Um die Flanken zu verbessern werden aus den H-Schichten HHH-Schichten gemacht, aus den LL-Schichten LLLL-Schichten. Als nächstes wird zwischen jeder Kavität 10a und/oder 10b die folgt, die Schicht 12 mit tiefem Brechungsindex angeordnet. Die nächste Kernkavität 10b hat im einfachsten Fall den Schichtenaufbau HLH LL HLH. Daher wird die Kernkavität 10b als sieben-schichtiger Aufbau mit einer Lambda-Halbe-Schicht zwischen zwei HLH Lambda-Viertel-Stapeln angesehen. Um die von zusätzlichen Lambda-Halbe-Schichten erzeugte Welligkeit zu reduzieren, sollen einige der Schichten in den Kernkavitäten auch mit Lambda-Halbe-Schichten versehen werden. Um ein Filter mit steilen Flanken zu erzeugen, kann sich die Kernkavität 10b viele Male wiederholen. Die erste Kavität 10a wird dann wiederholt und schliesslich wird, wenn notwendig, eine weitere Anpassungsschicht als Übergang zum Austritts-Medium angefügt.

Das Substrat 6 ist im Bereich der betrachteten Wellenlängen transparent und besteht aus einem Material aus einer grossen Vielfalt von Materialien, z.B. Glas, Quarz, klarer Kunststoff, Silizium, Germanium etc. Die dielektrischen Materialien für diese Anwendung haben Brechungsindizes im Bereich von 1,3 bis über 4,0. Die bevorzugten Materialien für diese Anwendung sind Magnesiumfluorid (1,38), Thorfluorid (1,47), Cryolith (1,35), Siliziumdioxid (1,46) Aluminiumoxid (1,63), Hafniumoxid (1,85), Tantalpentoxid (2,05), Nioboxid (2,19), Zinksulphid (2,27), Titanoxid (2,37), Silizium (3,5), Germanium (4,0) und Bleitellurid (5,0). Andere dielektrische Materialien wären ebenfalls anwendbar.

Nach dem Festsetzen der Anzahl Schichten in jeder Kavität gemäss Erfindung kann die Auslegung des Filters einfach mit Hilfe eines im Handel erhältlichen Computerprogrammes mit Optimierungsroutinen (z.B. TFCCalc™ von Software Spectra Inc.) ausgeführt werden. Auslegungsparameter werden in das Programm eingegeben und eine Spektralempfindlichkeit wird ausgerechnet. Wenn die Auslegung mit der richtigen Grösse von Kavitäten passend zur verlangten nominellen Bandbreite ausgewählt ist, wird eine Optimierung des Filterdurchlasses für die passenden Schichten ausgeführt. Der Konstrukteur wählt aus einer Auswahl von Materialien für eine Lambda-Viertel-Anpassung oder er verwendet dasselbe Material mit tiefem Brechungsindex und stellt die Schichtdicken für die Anpassung entsprechend ein.

Das in Figur 1b dargestellte Filter beinhaltet eine Anordnung von Kavitäten, die jeweils durch Lambda-Viertel-Schichten mit tiefem Brechungsindex getrennt sind. Die Anzahl Schichten in den Kernkavitäten 10b ist eine ungerade Zahl und muss grösser als fünf sein. Die Verbesserung bezüglich Welligkeitsreduktion ist ziemlich ausgeprägt bei Kernkavitäten 10b mit mehr als sieben Schichten. Gemäss Erfindung haben die erste und die letzte Kavität in jedem Lambda-Viertel-Stapel zwei Schichten weniger, was total vier Schichten weniger für jede Kavität ergibt. Die Anzahl Lambda-Halbe-Schichten in diesen äusseren Kavitäten 10a sollte gleich oder weniger sein als diejenige des Kernstapels oder der Kernstapel 10b. Mit Hilfe von theoretischen Schaubildern kann die optimale Anzahl von Lambda-Halbe-Schichten für jede Situation bestimmt werden. Zur Verbesserung der Flanken werden zusätzliche Lambda-Halbe-Schichten in den äusseren Stapeln auf Lambda-Viertel-Schichten angeordnet, wodurch Drei-Lambda-Viertel-Schichten entstehen. Dies erzeugt jedoch Welligkeit. Wenn die Flanken befriedigend sind, kann die Welligkeit trotzdem reduziert werden durch Anbringen von zusätzlichen Lambda-Halbe-Schichten auf Lambda-Viertel-Schichten in den inneren Stapeln, wodurch Drei-Lambda-Viertel-Schichten erzeugt werden.

Wenn die allgemeinen Eigenschaften des Filters befriedigend sind, kann die Position der zusätzlichen mehrfachen Schichten auf Winkellempfindlichkeit getestet werden. Ein leichtes Ändern der Positionen kann stark verbesserte Filtereigenschaften für eine Vielzahl von vorkommenden Einfallswinkeln ergeben.

Figur 7a zeigt das Durchlassprofil eines Bandpassfilters mit drei dreizehnlagigen Kernstapeln und neunschichtigen äusseren Stapeln. Die neunschichtigen äusseren Stapel haben entweder eine oder zwei Lambda-Halbe-Schichten. Das Durchlassprofil der zwei Lambda-Halbe- oder Ganzwellenstapel ist mit der fetten Linie angedeutet, und das Durchlassprofil für die Lambda-Halbe-Stapel mit einer dünnen Linie. Das Substrat und das Medium sind aus Glas, je mit einem Brechungsindex von 1,51. Die Verbesserung des resultierenden Durchlasses ist offensichtlich.

Figur 7b (fette Linie) zeigt das Durchlassprofil eines Bandpassfilters mit zwei fünfzehnschichtigen Kernstapeln und elfschichtigen äusseren Stapeln. Die elfschichtigen äusseren Stapel sind von der Form HLH 3L 3H 4L H 3L HLH, wobei H eine Schicht aus einem Material mit hohem Brechungsindex und mit einer optischen Dicke von Lambda-Viertel bezeichnet; 3H bezeichnet dazu eine zusätzliche Lambda-Halbe-Schicht aus einem Material mit hohem Brechungsindex; L bezeichnet eine Schicht aus einem Material mit tiefem Brechungsindex und einer optischen Dicke von Lambda-Viertel, etc. Die inneren Stapel haben die Form HLHLHLH LL HL (LL) HLHLH, wobei (LL) in nur einer Kavität zugefügt ist. Dieses (LL) könnte sich vor den Lambda-Halbe-Schichten in derselben Position befinden, um dieselbe Wirkung zu erzeugen. Das Material mit hohem Brechungsindex hat einen Brechungsindex von 2,24 und das Material mit tiefem Brechungsindex einen solchen von 1,45. Die dünne Linie zeigt die spektralen Eigenschaften des Basisfilters mit Schichtzahlen 11-15-15-11 mit nur Lambda-Halbe-Schichten. Das Substrat und das Medium sind aus Glas und jedes hat einem Brechungsindex von 1,51. Die Verbesserung der Flanken bei nur geringerer Welligkeit im Durchlassbereich ist offensichtlich. Die Bandbreite zwischen den Punkten halben Durchlasses hat sich nicht wesentlich verändert aber die Elimination von weiter entfernten Wellenlängen aus dem Band ist wesentlich besser.

Der Brechungsindex des Substrates und des Austrittsmediums beeinflusst die Welligkeit. Um die Welligkeit auf ein Minimum zu reduzieren, kann es nötig sein, den Filteraufbau dem Austrittsmedium anzupassen. Zum Beispiel, wenn der Brechungsindex n des Austrittsmediums zwischen 1,44 und 1,8 ist, kann eine Lambda-Viertel-Schicht des Materials mit tiefem Brechungsindex (Brechungsindex von ca. 1,48 oder weniger) die geeignete Anpassung liefern. Für Brechungsindizes, die grösser sind als ca. 1,8 oder kleiner als ca. 1,44 sind Schichtenwechsel zwischen dem Medium und dem Filter nötig. Dieses Problem ist bekannt und ist von Spezialisten angegangen worden. Figur 8 zeigt die Auswirkung einer Anpassung eines Filters an ein Austrittsmedium. Das Filter mit vier Kavitäten gemäss Figur 7b wird durch Entfernen der Schicht 1 an ein Silizium-Substrat angepasst. An das Austrittsmedium Luft wird das Filter angepasst durch anti-Reflexions-Anpassungsschichten, die eine 0,7185 Lambda-Viertel-Schicht aus ZnS für Schicht 54 und als Zusatzschicht Schicht 55 eine 0,643 Lambda-Viertel-Schicht aus ThF4 umfassen. Die Welligkeit im Durchlassbereich ist quasi identisch mit derjenigen in Figur 7b. Für alle Substrate und Austrittsmedien verstärken Strukturänderungen nahe bei diesen Medien die Leistung des Filters, so dass die Brechungsindizes des Substrates und des Austrittsmediums keine Hindernisse sind.

Beispiele

Unter Verwendung von Zinksulfid (mit einem Brechungsindex von 2,24) und Thorfluorid (mit einem Brechungsindex von 1,45) für die vielschichtige Struktur wurde ein Filter mit sieben Kavitäten errechnet, mit und ohne Endkavitäten, die die Welligkeit reduzieren (mit an den Enden zugefügten zusätzlichen Schichten mit tiefem Brechungsindex). Die Verminderung der Welligkeit ist erheblich, wie aus Figur 9a ersichtlich ist.

Ein Filter mit fünf Kavitäten wurde für verschiedenste Substrate errechnet. Figur 7a zeigt die Filter-Leistung eingetaucht in Glas mit einem Brechungsindex von 1,51.

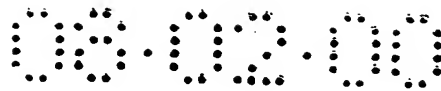
Wenn die Medien einen Brechungsindex zwischen 1,45 und 1,8 haben, zeigt das Filter mit fünf Kavitäten und mit zusätzlichen Schichten mit tiefem Brechungsindex am Anfang und am Ende der Filterstruktur zwischen 1518 nm bis 1542 nm einen Durchlass von mehr als 98%.

Für denselben Aufbau mit fünf Kavitäten mit einem auf 4,0 (Germanium) veränderten Brechungsindex für das Substrat und mit Luft (Brechungsindex 1,0) als Austrittsmedium wurde das Computerprogramm verwendet, um die Dicke der ersten zwei und letzten zwei Schichten des Filters zu optimieren. Figur 10a zeigt, dass nach der Anti-Reflexion die Filtereigenschaften nicht merklich verändert sind im Vergleich zu den Resultaten in Figur 7a.

Die Leistungsempfindlichkeit eines aus Silizium für hohen Brechungsindex ($n=3,5$) und Siliziumoxid für tiefen Brechungsindex ($n=1,85$) konstruierten, aus 105 Schichten bestehenden Filter mit acht Kavitäten ist in Figur 11a gezeigt. Obwohl es einige Welligkeit im Durchlassbereich gibt, ist der Durchlass viel besser als in gewöhnlichen Kavitätsfiltern. Ganze-Lambda-Schichten werden verwendet, um die Welligkeit zu beseitigen.

Die Leistungsempfindlichkeit eines Filters mit acht Kavitäten, das Schichten aus Hafniumoxid ($n=1,9$) und Quarz ($n=1,46$) aufweist und mit Schichten aus Magnesiumfluorid an den Enden, ist in Figur 12 dargestellt, wobei die verwendeten Materialien Hafniumoxid ($n=1,85$) und Quarz ($n=1,44$) sind und der Filter Schichten aus Magnesiumfluorid ($n=1,38$) zwischen Filter und Medium aufweist. Die Dicken dieser und der nächst-inneren Schichten von HfO_2 werden den Medien angepasst. Die erste und letzte Schicht sind aus Magnesiumfluorid. Sie sind, zusammen mit den nächsten Schichten dem Medium angepasst.

Ein Vergleich mit Figur 11a zeigt, dass die grundlegende Bandform (Leistungsempfindlichkeit) sozusagen unabhängig ist sowohl vom Verhältnis der Brechungsindizes



als auch vom absoluten Wert jedes Brechungsindex. Veränderung des Materials mit hohem Brechungsindex bei gleichbleibendem tiefem Brechungsindex ergeben geringe Veränderungen im Reflexionswert an der Spitze innerhalb des Durchlassbereiches.

Unter Verwendung von Zinksulfid (mit einem Brechungsindex von 2,24) und Thorfluorid (mit einem Brechungsindex von 1,45) für die vielschichtige Struktur wurden diverse Filter errechnet mit verschiedenen Anzahlen und Positionen von zusätzlichen Lambda-Halbe-Schichten.

Die erfindungsgemässen Filter bestehen aus einer Anordnung von Kavitäten gleicher Länge (mit der gleichen Anzahl von Schichten) ausser was die äusseren Kavitäten betrifft. Die äusseren Kavitäten haben vier Schichten weniger (zwei weniger auf jeder Seite der Lambda-Halbe-Schichten). Die Form des Durchlassbereiches für diese Konfiguration ist eben mit, wenn überhaupt, wenig Welligkeit. Die Flanken können wahlweise definiert werden durch Analyse der Bandbreiten bei Positionen mit günstigen Durchlassprozenten. Zum Zwecke des Vergleichs definieren wir das Bandbreitenverhältnis für 0,01% T bis 50%. Es wird mit S bezeichnet (für „shape“).

Das Bandbreitenverhältnis S ist viel kleiner für Filter mit Kavitäten, die alle gleicher Länge sind, als für Filterstrukturen, welche zur Verminderung der Welligkeit modifiziert sind. Für Filter mit weniger Schichten in den äusseren Kavitäten verbessert das Zufügen zusätzlicher Lambda-Halbe-Schichten zu den Lambda-Halbe-Schichten der äusseren Kavitäten das Verhältnis erheblich. Weitere Verbesserungen der Bandbreite in den 0,01% Punkten (und allen anderen dazwischen) können erreicht werden durch Zufügen von Lambda-Halbe-Dicken zu den Schichten, die im Besonderen die Lambda-Viertel-Stapel der äusseren Kavitäten darstellen. Diese werden dann Drei-Lambda-Viertel dick. Dies erhöht die Welligkeit im Bandpass, aber der Wert kann durch Variieren der Zahl und Position der zugefügten Lambda-Halbe-Schichten gesteuert werden. Zusätzlich wird die Welligkeit durch die Lambda-Halbe-Schichten in den inneren Kavitäten gesteuert. Der Bandfaktor wird gleichzeitig reduziert, daher

muss die Verwendung dieses Konstruktionswerkzeuges von Fall zu Fall in Betracht gezogen werden.

Mittels der Definition der Bandform $S = (\text{Bandbreite @ } 0,01\%T) / (\text{Bandbreite @ } 50\%T)$ und der Welligkeit $R = 100\% - \%T \text{ @ Minimum des Durchlassbereichs}$, können Vergleiche zwischen verschiedenen Filtertypen angestellt werden. Zusätzlich zu den obengenannten Faktoren sollte die Gesamtzahl von Lambda-Viertel-Stapeln und die Gesamtzahl von Schichten minimiert werden. Um die mit zusätzlichen Lambda-Halbe-Schichten in den Lambda-Viertel-Stapeln erzielten Verbesserung der Bandbreite zu messen, muss zuerst grundlegende Bandbreiteninformation ausgewertet werden. Dies, dargestellt für die Verwendung von Zinksulfid-Thorfluorid-Vielschichtenfiltern mit 15 Schichten für die Kavitäten ergibt:

Vier Kavitäten mit je 15 Schichten: $S = 2,35$ $R = 81\%$
und enthält 63 Schichten mit 67 Lambda-Viertel-Dicken

Dies sind Richtwerte. Keiner der folgenden vier Kavitätsauslegungen kann eine bessere Flanke haben.

Vergleiche werden wie folgt konfiguriert:

Vier-Kavitäten-Typ mit Schichtenzahlen 11-15-15-11: $S = 3,37$ $R = 99,8\%$
(Fall 1)

mit alles Lambda-Halbe-Schichten (2-2-2-2), mit Anpassung an die Medien, enthält dieser Typ 57 Schichten mit 61 Lambda-Viertel-Dicken.

Um diesen Faktor zu verbessern, können die Lambda-Halbe-Schichten in den äussersten Kavitäten durch Ganze-Lambda-Schichten oder durch multi-Lambda-Schichten ersetzt werden.

Vier-Kavitäten-Typ, wie in Fall 1, aber mit Lambda-Halbe-Schichten verändert zu:

von Lambda-Viertel-Schichten von 4-2-2-4 in den Kavitäten:

$S = 2,85$ $R = 99,6\%$ (Fall 2)

mit Anpassung an die Medien und mit 57 Schichten mit 63 Lambda-Viertel-Dicken.

Die Form kann weiter verbessert werden, indem auch zu gewissen Schichten der Lambda-Viertel-Stapel Lambda-Halbe-Schichten zugefügt werden. Wenn die Anforderungen nicht zu hoch sind, können befriedigende Resultate mit einigen zusätzlichen Schichten erreicht werden und andere erwünschte Wirkungen werden auch eintreten.

Unter strikter Verwendung der kleinsten Anzahl von zugefügten Schichten für den verbesserten Formfaktor:

ZTZT 3Z 4T 3Z TZTZ für die erste und letzte Kavität $R = 95\%$ und $S = 2,6$ enthält dies 55 Schichten mit 71 Lambda-Viertel-Dicken und:

ZTZ 3T 3Z 2T 3Z 3T ZTZ für die erste und letzte Kavität $R = 95\%$ und $S = 2,26$ enthält dies 55 Schichten mit 75 Lambda-Viertel-Dicken.

Diese Filtereigenschaften sind für die meisten Anwendungen angemessen. Für Faser-optik-Kommunikation ist weniger Welligkeit wünschenswert. Bessere Welligkeitsfaktoren verlangen weniger Drei-Lambda-Viertel- oder Lambda-Halbe-Schichten und Filter mit sehr geringer Welligkeit haben S-Werte im Bereich von 2,85. Zum Beispiel: ZTZ 3T 3Z 2T ZTZTZ als äussere Kavitäten ergeben ähnliche Resultate wie der 4-2-2-4-Typ.

$R = 99,5\%$ $S = 2,85$

Werden die äusseren Kavitäten auf ZTZ 3T 3Z 2T 3Z TZTZ verändert, erzeugt dies sofort die Resultate:

$$R = 97,6\% \text{ und } S = 2,74.$$

Werden die Drei-Lambda-Viertel-Schichten von der Lambda-Halbe-Schicht wegbe-
wegt, ebnet dies die Welligkeit aber das Bandform-Verhältnis wird niedriger. Für all-
gemeine Anwendungen ist es wünschenswert, dass die Filtereigenschaften sich nur
sehr wenig verändern bei Veränderungen des Einfallswinkels. Der erste besprochene
Filter (Fall 1) weist bei Winkeln einschliesslich 13° keine Durchlassverluste oder
Bandfaktorveränderungen auf.

Wenn ganze-Lambda-Schichten verwendet werden, wie im Fall 2, resultiert bei 13
Grad ein 10%-iger Durchlassverlust. Für erste und letzte Kavitäten der Form ZTZ 3T
3Z 2T ZTZTZ resultiert bei 13 Grad ein Durchlassverlust von 4%. Diverse Strukturen
wurden untersucht und die besten allgemeinen Eigenschaften sind im Folgenden be-
schrieben.

Für den Typ ZTZ 3T 3Z 4T Z 3T ZTZ für die äussere Kavitäten und je einer zusätzli-
chen Lambda-Halbe-Schicht in den beiden inneren Kavitäten um zwei Schichten in
einer der beiden Richtungen entfernt von der Lambda-Halbe-Schicht. So entsteht ein
Filter mit 55 Schichten bestehend aus 79 Lambda-Viertel-Dicken. Der Durchlass
bleibt bei 13 Grad bei 96% T, die Welligkeit R ist 97,5% im Minimum und der Form-
faktor S ist 2,72.

Dies ist in Figur 7b dargestellt.

Filter mit einem Welligkeitsfaktor $R = 92\%$ im Minimum und einem Verhältnis $S =$
2,55 resultieren mit:

Z 3T 3Z 3T 3Z 2T 3Z 3T 3Z 3T Z

in der ersten und letzten Kavität.

Dies bedeutet für den Filter 32 zusätzliche Lambda-Viertel-Dicken, was eine Gesamtzahl von 87 ergibt. Besser wäre es, statt dessen eine weitere Kavität zuzufügen.

Ein Filter mit fünf Kavitäten von der Struktur:

ZTZ 3T 3Z 4T 3Z 3T (ZT)6 (TZ)7 T 3Z 4T (ZT)8 (TZ)6 3T 3Z 4T 3Z 3T ZTZ

hat 73 Schichten und 90 Lambda-Viertel-Dicken. Der Durchlass bei 13 Grad ist 97%.

Die Welligkeit $R = 97,5\%$ und der Formfaktor $S = 2,0$.

Dies ist in Figur 9b dargestellt.

Um bessere Formen für ein Filter mit fünf Kavitäten zu erzeugen eignet sich die Struktur:

TZT 3Z 3T 3Z 4T 3Z 3T Z 3T (ZT)5 (TZ)7 3T 3Z 2T Z 3T (ZT)7 (TZ)5 3T Z 3T 3Z 4T 3Z 3T 3Z TZT

mit 73 Schichten und 112 Lambda-Viertel-Dicken. Der Durchlass bei 13 Grad Einfallswinkel ist im Minimum 91%. Die Welligkeit R ist 96% und der Formfaktor S ist 1,90. Ein Filter mit sechs Kavitäten mit weniger Lambda-Viertel-Dicken hat, wie im Folgenden aufgezeigt, die besseren Eigenschaften.

Ein Filter mit sechs Kavitäten der Struktur:

T (ZT)2 3Z 4T (ZT)7 (TZ)8 2T Z 3T (ZT)4 Z 3T 3Z T Z 2T (ZT)8 (TZ)7 4T 3Z (TZ)2 T

hat 89 Schichten und 107 Lambda-Viertel-Dicken. Der Durchlass ist bei 13 Grad Einfallswinkel 96%.

Die Welligkeit R ist 98,5 und der Fromfaktor S ist 1,73.

Die Leistung ist in Figur 10b dargestellt.

Die spektralen Eigenschaften eines aus abwechselnden Schichten aus Tantalpentoxid und Siliziumoxid bestehenden Filters sind in Figur 11b aufgezeichnet. Der Aufbau ist: T 3Q 3T 4Q 3T Q (TQ)4 (QT)5 3Q T 4Q (TQ)6 (QT)4 Q 3T 4Q 3T 3Q T und enthält 51 Schichten mit 76 Lambda-Viertel-Dicken. Der Durchlass ist im Minimum mehr als 98,5%. Steigung $S = 2,2$. Eine Grafik des Durchlasses als Funktion der Wellenlänge ist in Figur 11b zu sehen.

Dies zeigt auf, dass das grundlegende Band, sowohl vom Verhältnis der Brechungsindizes als auch von den absoluten Werten jedes Brechungsindex so gut wie unabhängig ist. Vergleiche, bei denen der hohe Brechungsindex bei gleichbleibendem tiefem Brechungsindex verändert wird, zeigen geringe Veränderungen im Reflexionswert an der Spitze innerhalb des Durchlassbereiches.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass das erfindungsgemässe Filter im Vergleich zu bekannten Filtern eine wesentliche Leistungsverbesserung erbringt. Dies wird erreicht dadurch, dass die äusseren Kavitäten vier Schichten weniger aufweisen als die inneren Kernkavitäten und dass Lambda-Halbe-Schichten den Lambda-Viertel-Stapeln (und gegebenenfalls Lambda-Halbe-Schichten der äusseren Kavitäten) zugefügt werden.

Natürlich können zahlreiche andere Ausführungsformen und Anwendungen in Betracht gezogen werden ohne dass damit der Bereich der Erfindung verlassen wird.

PATENTANSPRÜCHE

1. Bandpassfilter mit einem vielschichtigen Aufbau und mit einer Vielzahl von Kavitäten (10a, 10b), beinhaltend zwei äussere Kavitäten (10a) und mindestens eine davon verschiedene innere Kernkavität (10b), wobei jede Kavität (10a, 10b) zwei aus Lambda-Viertel-Schichten bestehende reflektierende Elemente aufweist, welche eine einzige Schicht aus einem Material mit hoher Brechzahl oder eine Vielzahl von Schichten aus Materialien mit abwechselungsweise hoher und niedriger Brechzahl aufweisen, diese Elemente in jeder Kavität (10a, 10b) durch eine Lambda-Halbe-Schicht oder eine Mehrfach-Lambda-Halbe-Schicht aus dielektrischem Material voneinander getrennt sind, jede dieser Kavitäten (10a, 10b) von einer benachbarten Kavität (10a, 10b) durch eine Lambda-Viertel-Schicht (12) aus einem Material mit niedriger Brechzahl getrennt ist und die Anzahl Schichten in der mindestens einen inneren Kernkavität (10b) eine ungerade Zahl grösser oder gleich Sieben ist, dadurch gekennzeichnet, dass die äusseren Kavitäten (10a) in jedem Lambda-Viertel-Reflektor je zwei Schichten weniger aufweisen als in anderen Lambda-Viertel-Reflektoren der mindestens einen inneren Kernkavität (10b) und dass zumindest ein Lambda-Viertel-Reflektor mindestens eine Schicht beinhaltet, welche die Gesamtdicke einer Drei-Lambda-Viertel-Schicht aufweist.
2. Bandpassfilter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht oder Schichten in beiden äusseren Kavitäten (10a) eine Veränderung der Steigung des Durchlassbereiches bezwecken und die in den inneren Kavitäten (10b) angeordneten Schichten eine Verminderung der Welligkeit bezwecken, welche durch eine Schicht oder Schichten eingeführt wird, welche die Gesamtdicke einer Drei-Lambda-Viertel-Schicht haben und sich in einer der äusseren Kavitäten (10a) befinden.

3. Bandpassfilter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Mehrfach-Lambda-Halbe-Schicht aus dielektrischem Material mindestens einer inneren Kavität (10b) weniger halbe Wellenlängen beinhaltet als die Mehrfach-Lambda-Halbe-Schicht der zwei äusseren Kavitäten (10a).
- 5 4. Bandpassfilter nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass jene Mehrfach-Lambda-Halbe-Schichten aus dielektrischem Material der mindestens einen inneren Kavität (10b), welche an die äusseren Kavitäten (10a) angrenzen, weniger halbe Wellenlängen beinhaltet als die Mehrfach-Lambda-Halbe-Schicht der zwei äusseren Kavitäten (10a).

0835 466

08.02.00

1/17

SUBSTRAT	
M-Schicht	KAVITÄT # 1
LAMBDA-VIERTEL TIEFEN INDEXES	
M-Schicht	KAVITÄT # 2
LAMBDA-VIERTEL TIEFEN INDEXES	
M-Schicht	KAVITÄT # 3
LAMBDA-VIERTEL TIEFEN INDEXES	
M-Schicht	KAVITÄT # 4
LAMBDA-VIERTEL TIEFEN INDEXES	
M-Schicht	KAVITÄT # 5
AUSTRITTSMEDIUM	

Fig. 1a

Stand der Technik

08.02.00

2/17

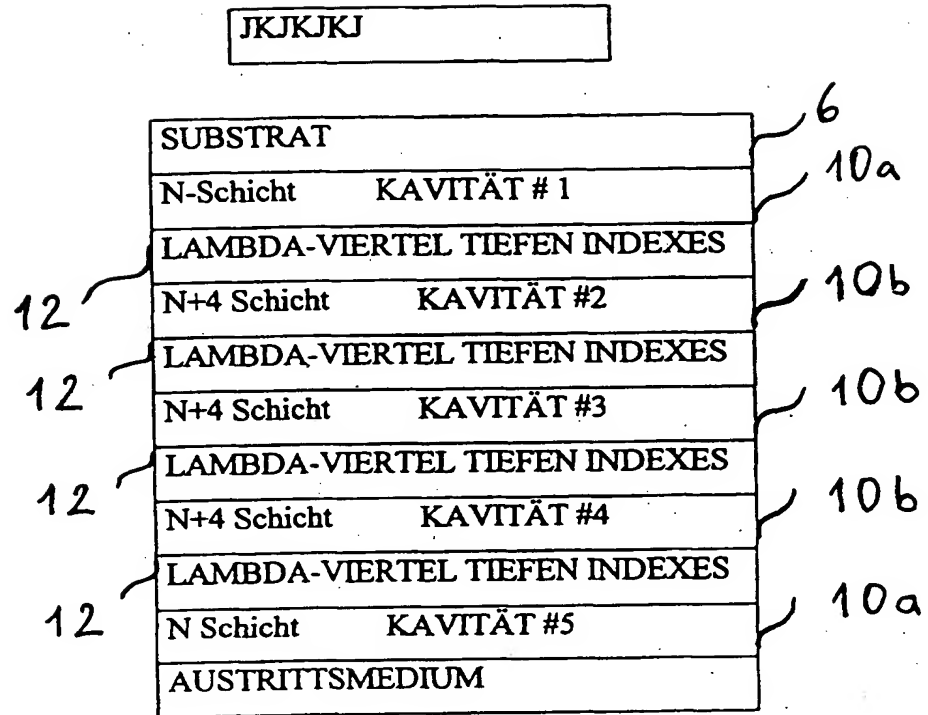


Fig. 1b

HALBSPIEGEL
LAMBDA-HALBE
HALBSPIEGEL

Fig. 2 Stand der Technik

HOHER INDEX
TIEFER INDEX
HOHER INDEX
.....
HOHER INDEX
TIEFER INDEX
HOHER INDEX

Fig. 3 Stand der Technik

4/17

LAMBDA-VIERTEL HOHEN INDEXES
LAMBDA-VIERTEL TIEFEN INDEXES
LAMBDA-VIERTEL HOHEN INDEXES
LAMBDA HALBE
LAMBDA-VIERTEL HOHEN INDEXES
LAMBDA-VIERTEL TIEFEN INDEXES
LAMBDA-VIERTEL HOHEN INDEXES

Fig. 4 Stand der Technik

LAMBDA-VIERTEL HOHEN INDEXES
LAMBDA-VIERTEL TIEFEN INDEXES
LAMBDA-VIERTEL HOHEN INDEXES
LAMBDA-VIERTEL TIEFEN INDEXES
LAMBDA-VIERTEL HOHEN INDEXES + LAMBDA-HALBE
LAMBDA-VIERTEL TIEFEN INDEXES
LAMBDA-HALBE HOHEN INDEXES
LAMBDA-VIERTEL TIEFEN INDEXES + LAMBDA HALBE
LAMBDA-VIERTEL HOHEN INDEXES
LAMBDA-VIERTEL TIEFEN INDEXES
LAMBDA-VIERTEL HOHEN INDEXES
LAMBDA-VIERTEL TIEFEN INDEXES
LAMBDA-VIERTEL HOHEN INDEXES

Fig. 4b

LAMBDA-VIERTEL-Schicht #1
LAMBDA-HALBE
LAMBDA-VIERTEL-Schicht #2
+ L + LAMBDA-VIERTEL-Schicht #3
LAMBDA-HALBE
LAMBDA-VIERTEL-Schicht #4
+ L + LAMBDA-VIERTEL-Schicht #5
LAMBDA HALBE
LAMBDA-VIERTEL-Schicht #6

Fig. 5a Stand der Technik

08.02.00

6/17

Geänderte LAMBDA-VIERTEL-Schicht #1 $N/2$ Schichten
LAMBDA-HALBE
Geänderte LAMBDA-VIERTEL-Schicht #2 $N/2$ Schichten
+ L
+ LAMBDA-VIERTEL-Schicht #3 $(N/2 + 2)$ Schichten
LAMBDA-HALBE
LAMBDA-VIERTEL-Schicht #4 $(N/2 + 2)$ Schichten
+ L
+ Geänderte LAMBDA-VIERTEL-Schicht #5 $N/2$ Schichten
LAMBDA HALBE
LAMBDA-VIERTEL-Schicht #6 $(N/2)$ Schichten
+ L
+ LAMBDA-VIERTEL-Schicht #7 $(N/2)$ Schichten
LAMBDA-HALBE
LAMBDA-VIERTEL-Schicht #m Schichten
+ L
+ Geänderte LAMBDA-VIERTEL-Schicht #(m+1) $(N/2)$ Schichten
LAMBDA-HALBE
Geänderte LAMBDA-VIERTEL-Schicht #(m+2) $(N/2)$ Schichten + ...

Fig. 5b

08.02.00

7/17

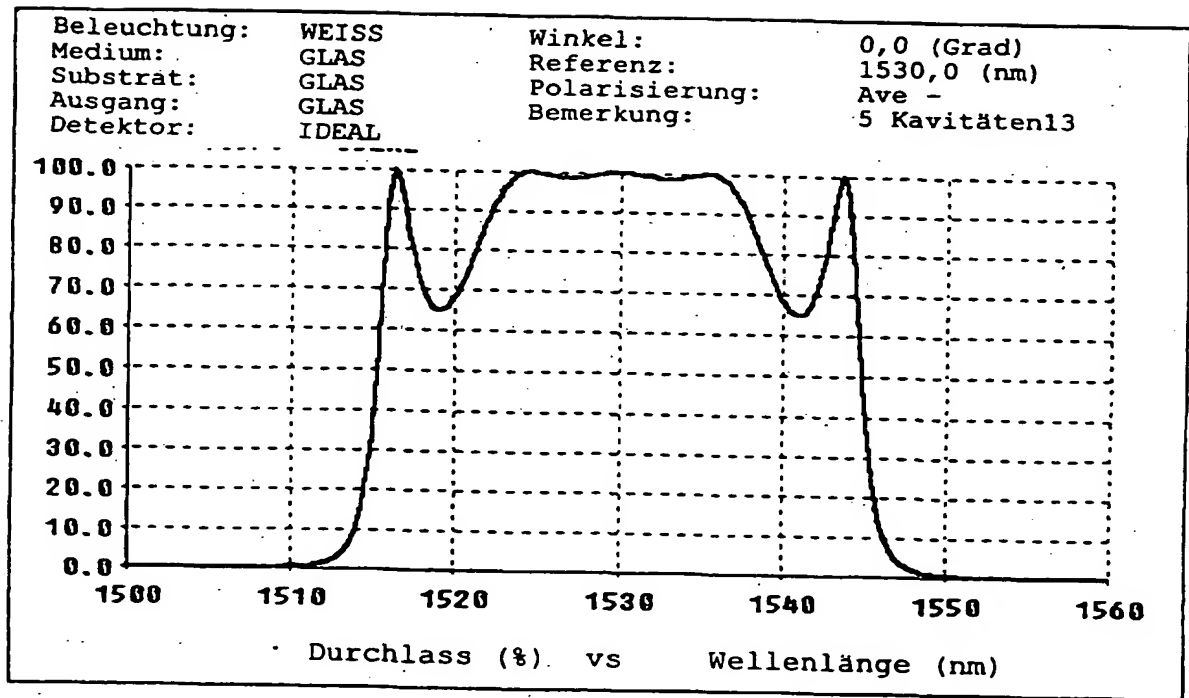


Fig. 6

08.02.00

8/17

Beleuchtung: WEISS
Medium: GLAS
Substrat: GLAS
Ausgang: GLAS
Detektor: IDEAL

Winkel: 0,0 (Grad)
Referenz: 1530,0 (nm)
Polarisierung: Ave -
Bemerkung: 5 Kav.9.13.9

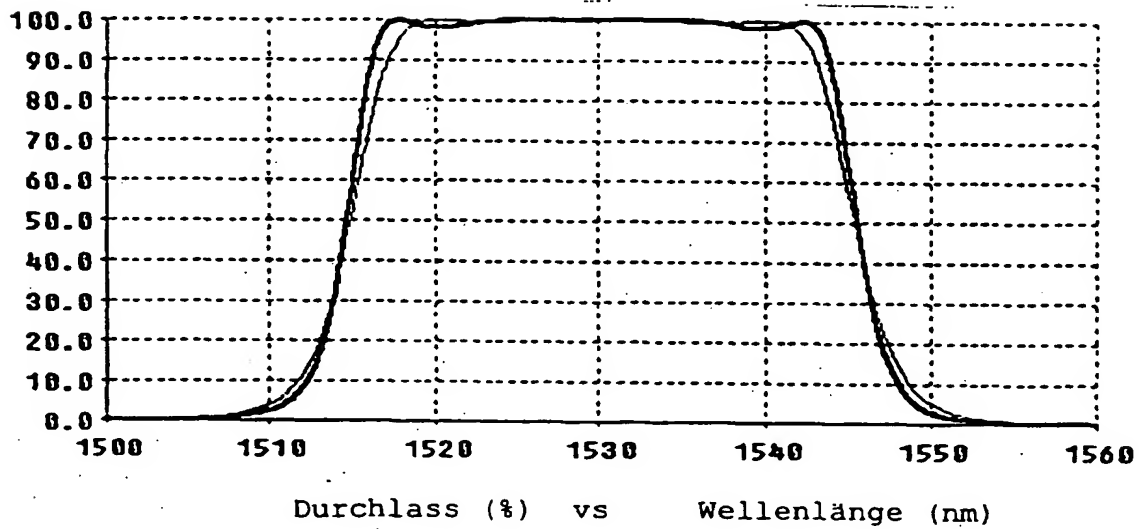


Fig. 7a

08.02.00

9/17

Beleuchtung: WEISS
Medium: GLAS
Substrat: GLAS
Ausgang: GLAS
Detektor: IDEAL

Winkel: 0,0 (Grad)
Referenz: 1550,0 (nm)
Polarisierung: Ave -

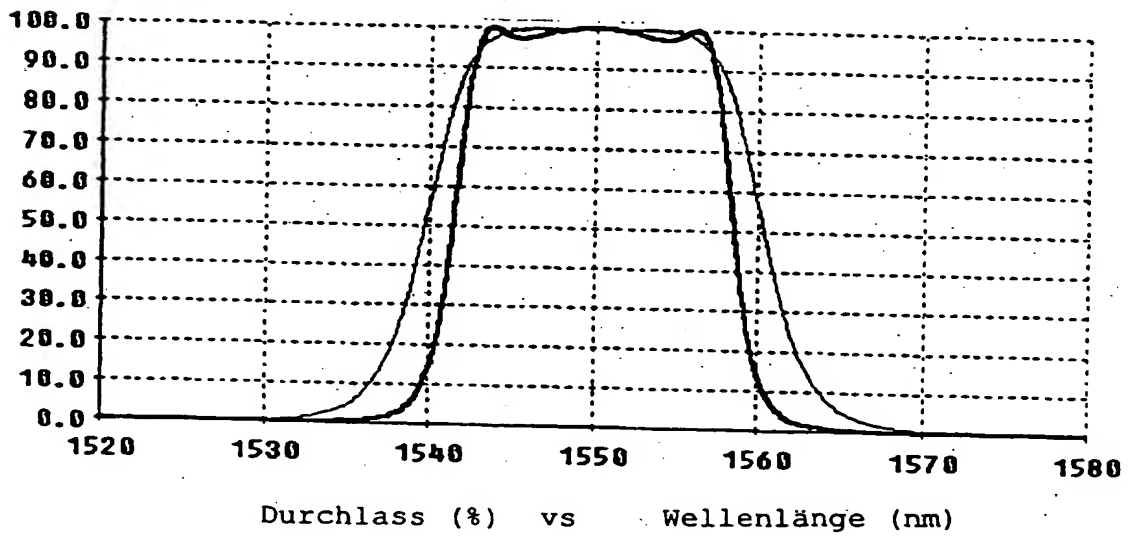


Fig. 7b

08.03.00

10/17

Beleuchtung: WEISS
Medium: GLAS
Substrat: SI
Ausgang: SI
Detektor: IDEAL

Winkel: 0,0 (Grad)
Referenz: 1550,0 (nm)
Polarisierung: Ave -

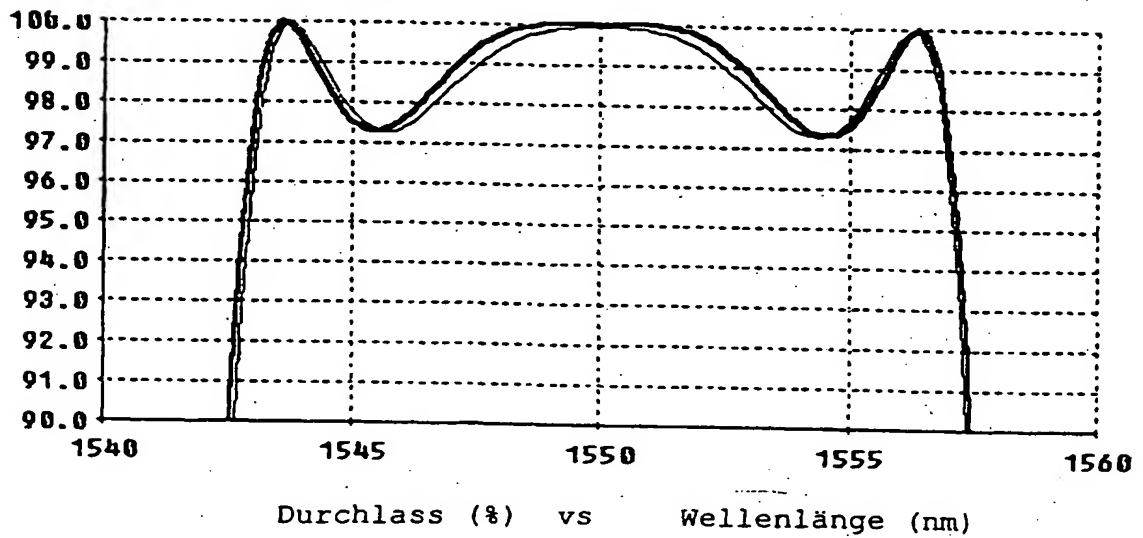


Fig. 8

08.03.00

11/17

Beleuchtung: WEISS
Medium: BK7
Substrat: BK7
Ausgang: BK7
Detektor: IDEAL

Winkel: 0,0 (Grad)
Referenz: 1530,0 (nm)
Polarisierung: Ave -
Bemerkung: 7 Kavitäten 9.13.9 13

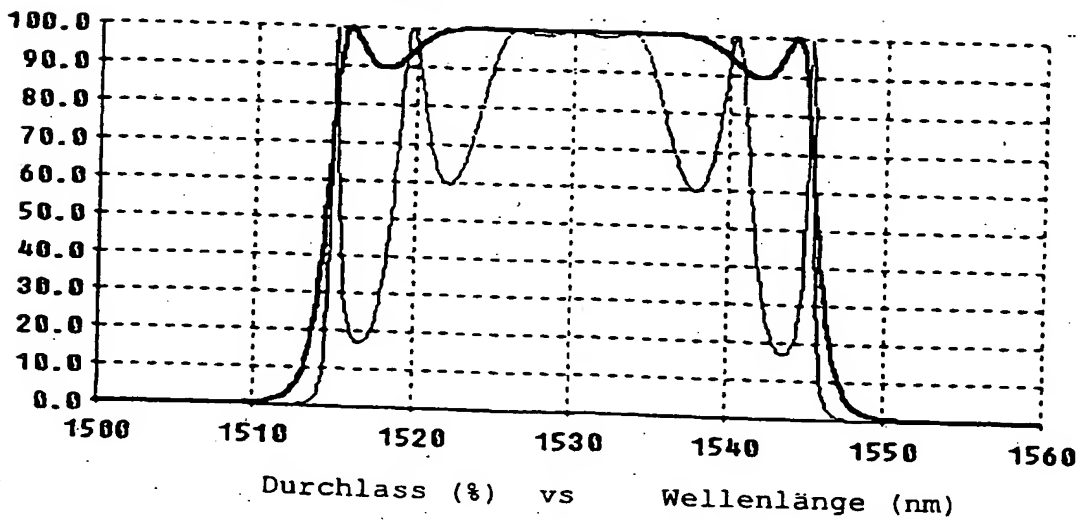


Fig. 9a

08.02.00

12/17

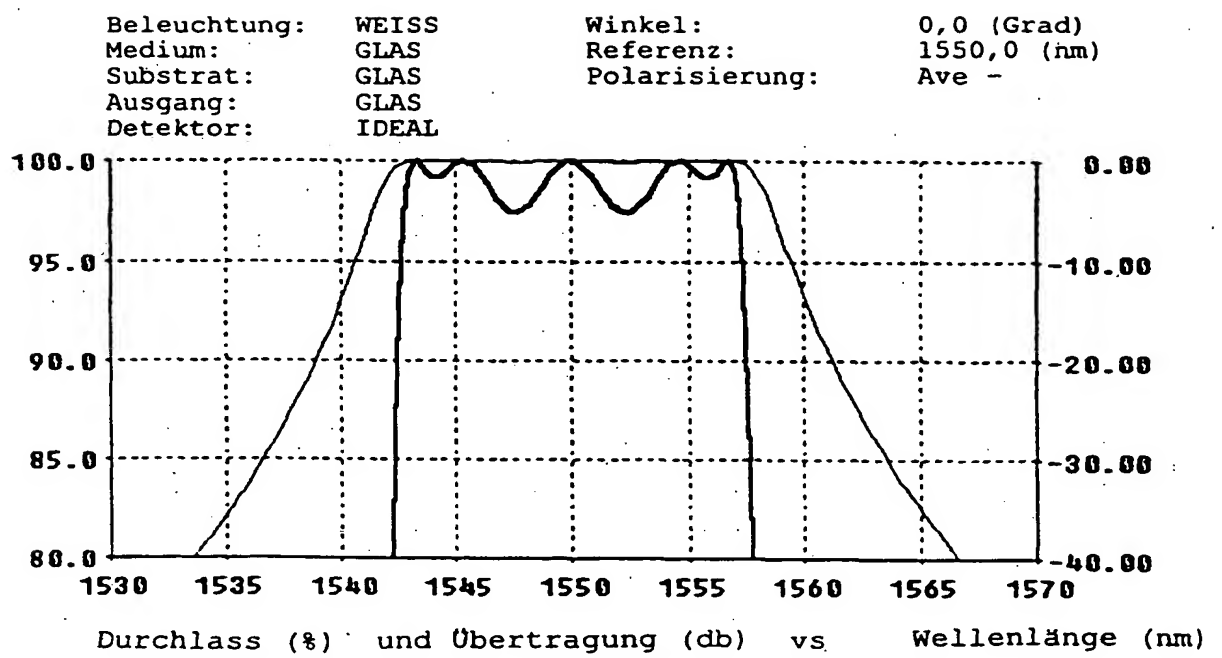


Fig. 9b

08.02.00

13/17

Beleuchtung: WEISS
Medium: LUFT
Substrat: GE
Ausgang: GE
Detektor: IDEAL

Winkel: 0,0 (Grad)
Referenz: 1530,0 (nm)
Polarisierung: Ave -
Bemerkung: 5 KAVITÄTEN 9.13.9

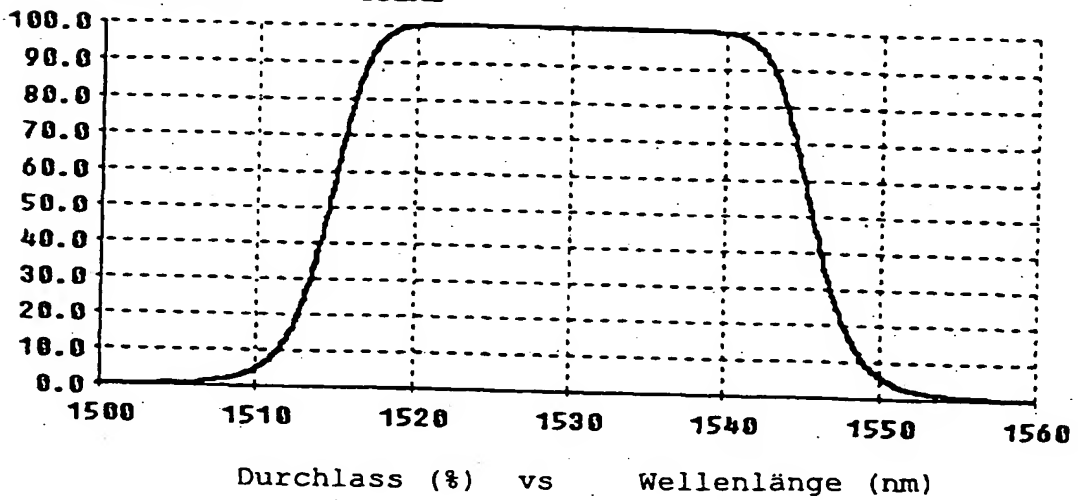


Fig. 10a

08.02.00

14/17

Beleuchtung: WEISS
Medium: GLAS
Substrat: GLAS
Ausgang: GLAS
Detektor: IDEAL

Winkel: 0,0 (Grad)
Referenz: 1550,0 (nm)
Polarisierung: Ave -

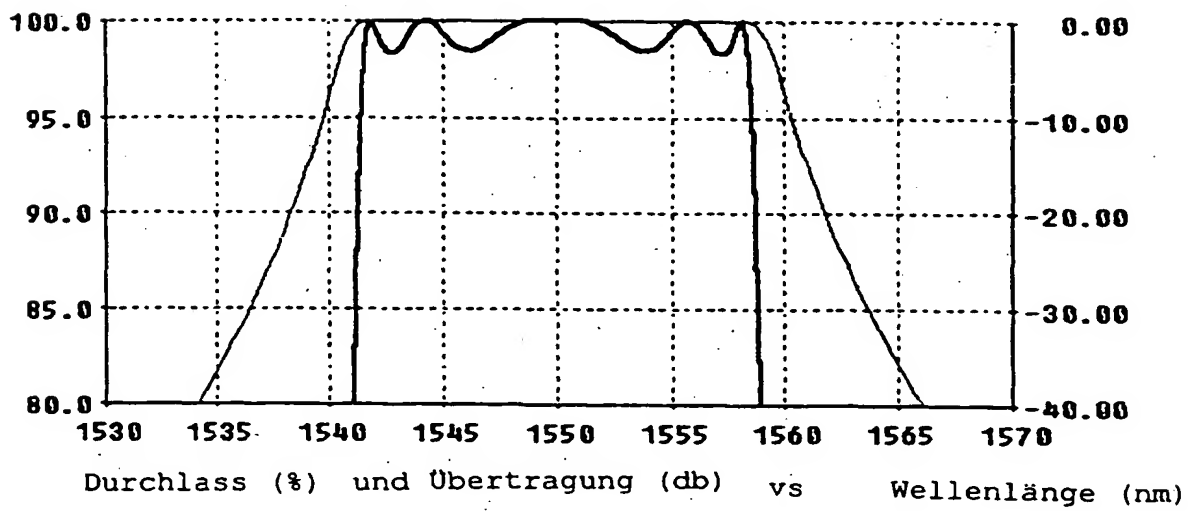


Fig. 10b.

08.02.00

15/17

Beleuchtung: WEISS
Medium: BK7
Substrat: BK7
Ausgang: BK7
Detektor: IDEAL

Winkel: 0,0 (Grad)
Referenz: 1530,0 (nm)
Polarisierung: Ave -
Bemerkung: 8 KAVITÄTEN 9.13.9

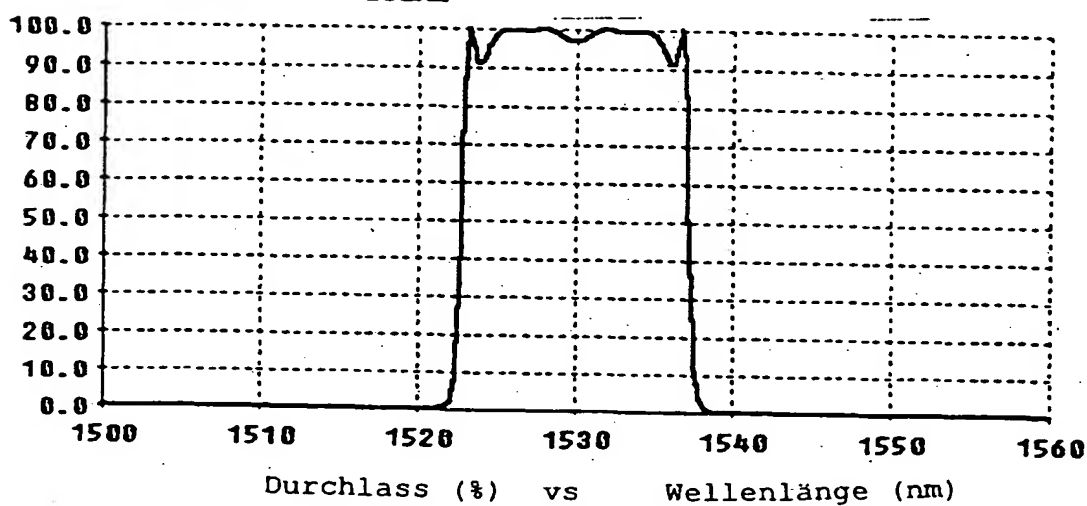


Fig. 11a

08.02.00

16/17

Beleuchtung: WEISS
Medium: BK7
Substrat: BK7
Ausgang: BK7
Detektor: IDEAL

Winkel: 0,0 (Grad)
Referenz: 1300,0 (nm)
Polarisierung: Ave -

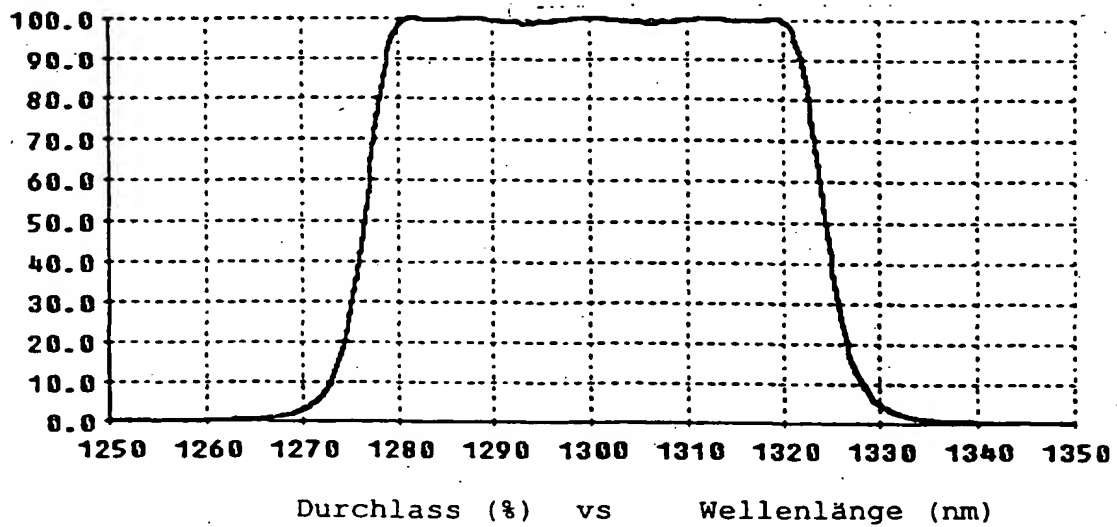


Fig. 11b

08.02.00

17/17

Beleuchtung: WEISS
Medium: LUFT
Substrat: BK7
Ausgang: BK7
Detektor: IDEAL

Winkel: 0,0 (Grad)
Referenz: 360,0 (nm)
Polarisierung: Ave -
Bemerkung: 8 KAVITÄTEN 9.13.9

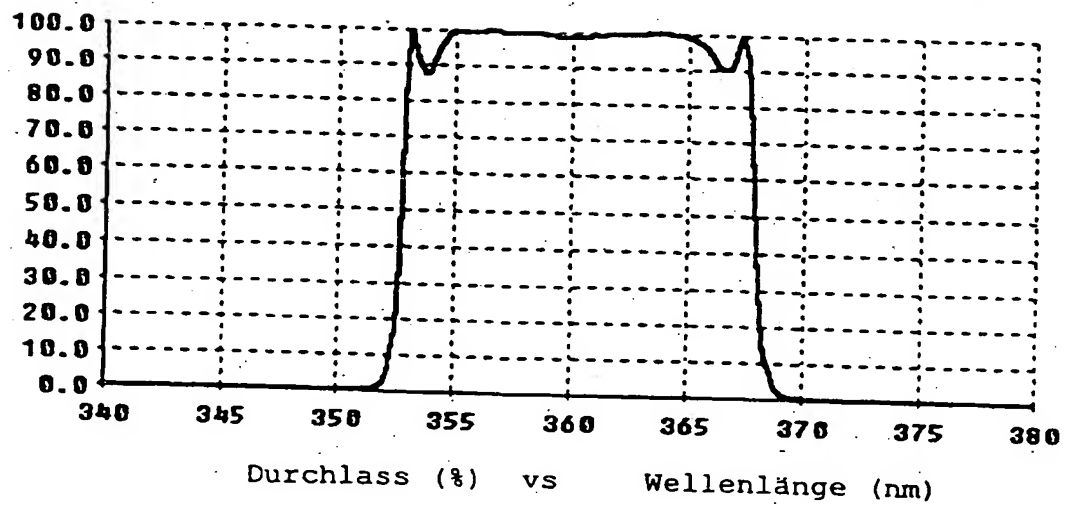


Fig. 12